

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski studij Prehrambena tehnologija

Iva Jurec

7283/PT

**PRIMJENA NETOPLINSKIH TEHNOLOGIJA U OBRADI VOĆNIH
SOKOVA**

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Jedinične operacije

Mentor: doc.dr.sc. *Sven Karlović*

Zagreb, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu

Prehrambeno-biotehnološki fakultet

Preddiplomski sveučilišni studij Prehrambena tehnologija

Zavod za Procesno inženjerstvo

Laboratorij za tehnološke operacije

Znanstveno područje: Biotehnološke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Primjena netoplinских tehnologija u obradi voćnih sokova

Iva Jurec, 0058208749

Sažetak: U ovom radu određivala su se fizikalna svojstva voćnih sokova prije i nakon tretmana ultrazvukom različitog intenziteta i različitog vremena trajanja tog tretmana te se tako mjerenjem gustoće, viskoznosti i pH vrijednosti i nakon provedene analize kolorimetrije promatralo da li postoji promjena u nutritivnom sastavu te fizikalnim i organoleptičkim svojstvima voćnog soka.

Ključne riječi: fizikalna svojstva, ultrazvuk, voćni sok

Rad sadrži: 25 stranica, 21 slika, 3 tablica, 22 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: doc.dr.sc. Sven Karlović

Pomoć pri izradi: Goran Bosanac, mag.ing.

Datum obrane: Rujan 2018.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

University of Zagreb

Faculty of Food Technology and Biotechnology

University undergraduate study Food Technology

Department of Process Engineering

Laboratory for Unit Operations

Scientific area: Biotechnological sciences

Scientific field: Food Technology

Application of non-thermal technology in the processing of fruit juices

Iva Jurec, 0058208749

Abstract: What was determined in his work were the physical properties of fruit juice before and after the ultrasound treatment. Depending on the intensity and time treatment, measurement of density, viscosity, pH and analysis of colorimetry were conducted for that purpose. Using the results of these analysis, the changes in nutritive value and physical and organoleptic characteristics of fruit juice were monitored so that a certain conclusion could be brought.

Keywords: fruit juice, physical characteristics, ultrasound

Thesis contains: 25 pages, 21 figures, 3 tables, 22 references

Original in: Croatian

Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

Mentor: PhD Sven Karlovic, Assistant professor

Technical support and assistance: Goran Bosanac, mag.ing.

Defence date: September 2018

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Teorijski dio	2
2.1. Uvod – definiranje i objašnjenje pojmova	2
2.1.1. Zvuk – definicija	2
2.1.1.1. Primjena ultrazvuka.....	3
2.1.1.2. Kavitacija.....	4
2.1.1.3. Ultrazvučni sustav	5
2.1.2. Voćni sokovi	7
2.1.2.1. Jagoda – fizikalno kemijske karakteristike.....	8
2.1.2.2. Jabuka – fizikalno kemijske karakteristike.....	9
2.1.3. Fizikalna svojstva.....	10
2.1.3.1. Gustoća.....	10
2.1.3.2. Viskoznost	11
2.1.3.3. Kolorimetrija	11
3. Materijali i metode	14
3.1. Materijali – priprema uzorka	14
3.2. Metode i postupci istraživanja.....	15
3.2.1. Mjerenje gustoće, viskoznosti i pH vrijednosti.....	15
3.2.2. Kolorimetrija.....	16
4. Rezultati i rasprava	17
4.1. Gustoća, viskoznost i pH vrijednost.....	17
4.2. Kolorimetrija	18
4.2.1. Uzorci jagode	18
4.2.2. Uzorci jabuke	19
5. Zaključak	23
6. Popis literature	24

Završni rad izrađen je u cijelosti u Laboratoriju za tehnološke operacije Zavoda za procesno inženjerstvo, Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom Doc.dr.sc. Sven Karlović i uz tehničku pomoć mag.ing. Goran Bosanac.

1. Uvod

U današnje vrijeme sve se više pažnje pridodaje pravilnom i zdravijem načinu prehrane. Konzumira se sve više namirnica prirodnog podrijetla, a pogotovo voće i povrće jer su bogati različitim antioksidansima koji imaju pozitivan učinak na zdravlje ljudi. Kako se ne bi narušio pozitivan učinak voća i povrća, njihovu je preradu potrebno svesti na minimum. Stoga se najviše konzumiraju u obliku cijelih komada, u obliku frappea ili smoothieja, ali i u obliku sokova.

Kako se mijenja trend potrošača, u prehrambenoj industriji se mijenjaju i načini prerade. Svakodnevno se traže neke nove metode koje su bolje, brže i jednostavnije od konvencionalnih metoda. Posebno zanimljivima pokazale su se netoplinke metode. One imaju svojstvo da tijekom obrade hrane ne dolazi do značajnog povišenja temperature čime su promjene u teksturi i senzorskim svojstvima namirnice svedene na minimum. Također, pomoći njih se produžuje svježina i rok trajanja namirnice.

Uz obradu namirnice visokim hidrostatskim tlakom, obrada ultrazvukom pripada u netoplinke metode. Obrada ultrazvukom se istražuje duži niz godina, ali njegova upotreba još nije dovoljno raširena, iako su dokazane različite prednosti, kao što je inaktivacija mikroorganizama i enzima, što produljuje rok trajanja namirnice. Također, dolazi do uštede u energiji, radnoj snazi i vremenu, ali i do minimalnog utjecaja na okoliš.

U radu se promatra utjecaj ultrazvuka pri obradi različitih voćnih sokova ovisno o primijenjenom intenzitetu i vremenu obrade, na način da se prate fizikalna svojstva. Fizikalna svojstva koja su se pratila su gustoća, viskoznost, pH i kolorimetrija.

Kroz teorijski dio rada objasniti će se princip rada ultrazvuka, njegova primjena u prehrambenoj industriji i definirati voćni sokovi, a u empirijskom dijelu rada biti će prikazani rezultati dobiveni mjerenjima u laboratoriju.

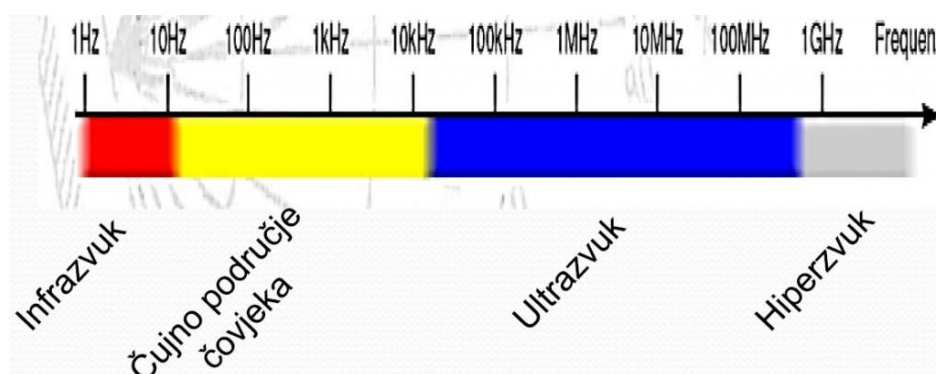
2. Teorijski dio

2.1. Uvod – definiranje i objašnjenje pojmova

Za jasnije razumijevanje ciljeva rada neophodno je precizno definirati pojmove, kao što su obrada ultrazvukom, na što se odnosi pojam voćnih sokova te fizikalna svojstva. Iz tog razloga je u slijedećim poglavljima napravljen kratki osvrt na tumačenje navedenih pojmova usmjerenih na tematiku rada kako bi se potpunije razumjela ideja završnog rada.

2.1.1. Zvuk – definicija

Zvuk nastaje kao posljedica promjene razine tlaka koji se širi elastičnim medijem u kojemu se nalazi i slušatelj. Promjene tlaka nastaju zbog titranja molekula medija koje su izbačene iz ravnotežnog položaja zbog vanjskog utjecaja, a zvuk se širi zbog elastične veze između molekula medija. Broj titranja molekula u određenom vremenu govori da li se radi o čujnom ili nečujnom zvuku. Titranje se označava s dvije veličine, frekvencijom i amplitudom. Frekvencija je broj titranja koji se proizvodi u sekundi i mjeri se u hercima (Hz), a amplituda ili širina titranja je najveće odstojanje koje dostiže titrajući dio tokom jednog titraja računajući od njegovog položaja mirovanja. Što je veća frekvencija zvuka to je glas viši, a što je veća amplituda to je glas glasniji. Zvučno područje od 0 – 16 Hz naziva se infrazvuk, područje od 16 Hz do 20 kHz je čujno područje čovjeka, dok je područje iznad 20 kHz područje ultrazvuka.

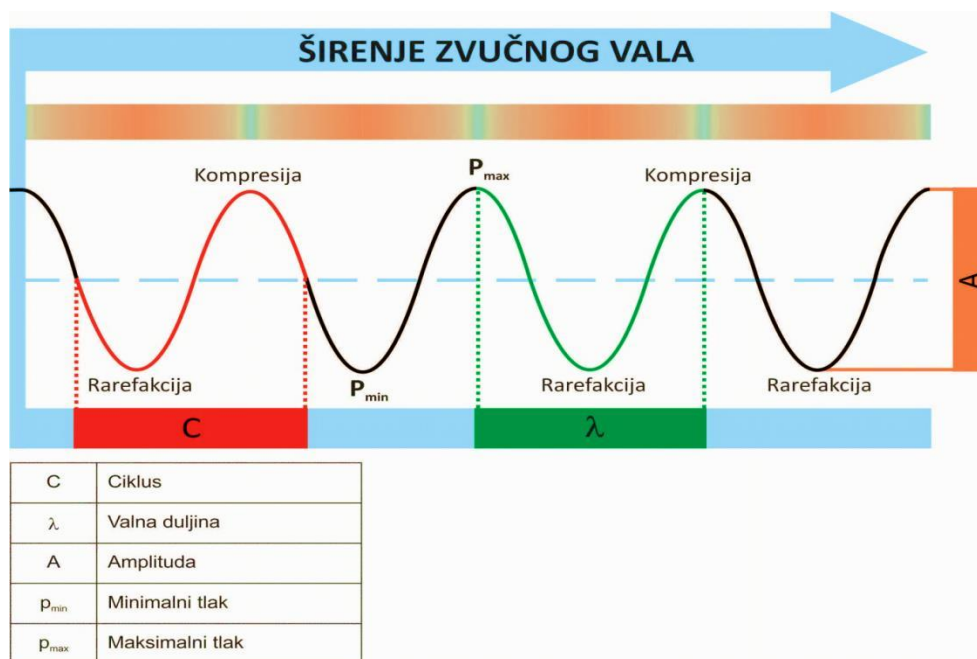


Slika 1. Spektar zvuka

(Izvor: <http://energonova-zagreb.eu/ultrazvucno-ispitivanje>)

Ovisno o vrsti sredstva kroz koje se prenosi energija, svojstvu materijala, obliku i dimenziji materijala nastat će različite veličine zvučnih valova. Dvije osnovne vrste valova su

longitudinalni ili uzdužni i transverzalni ili poprečni valovi. Longitudinalni valovi šire se u istom pravcu u kojem se gibaju čestice medija, mogu se prostirati u sva tri agregatna stanja te uzrokuju zgušćenje i razrjeđenja u sredstvu u kojem se šire. Kod transverzalnih valova čestice medija titraju okomito na pravac širenja vala i mogu nastati samo tamo gdje su molekule čvrsto vezane jedna uz drugu, to su čvrsta tijela, te oni ne uzrokuju zgusnuća ni razrjeđivanje u materijalu. Ostale vrste valova nastaju kombinacijom longitudinalnih i transverzalnih valova.



Slika 2. Osnovne karakteristike zvučnog vala tijekom širenja kroz medij (Laboratorij za tehnološke operacije, Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu)

2.1.1.1. Primjena ultrazvuka

Korištenje ultrazvuka u prehrambenoj industriji je dugogodišnji predmet istraživanja te se njegov razvoj može podijeliti u dvije glavne primjene, analizu hrane i obradu hrane, ovisno o primijenjenom intenzitetu (McClements, 1995; Mason, 1998).

Ultrazvuk niskog intenziteta prostire se u frekvenzijskom rasponu od 2 MHz na više i koristi se kao analitička tehnika za kontrolu obrade hrane. To je nerazorna tehnika sa značajkama visokih frekvencija i niskih intenziteta, manjih od 1 W/cm^2 , te ne uzrokuje fizičke niti kemijske promjene u svojstvima materijala kroz koji prolazi ultrazvučni val (McClements, 1995; Mason, 1998).

Ultrazvuk visokog intenziteta prostire se na frekvencijama od 20 do 100 kHz te visokim intenzitetima, obično u rasponu od 10 do 1000 W/cm² (McClements, 1995; Mason, 1998). Može uzrokovati fizikalne promjene materijala te određene kemijske promjene u materijalima na kojima je primijenjen. Različita istraživanja se temelje na frekvencijskom području od 20 kHz do 40 kHz jer je to područje najučinkovitije u smislu djelovanja kavitacije. U obradi hrane se trenutno koristi za čišćenje, homogenizaciju tekućina, sušenje, ekstrakciju, destilaciju i uklanjanje nepoželjnih mikroorganizama. Iako još uvijek nema široku primjenu u industriji, obrada hrane ultrazvukom smatra se potencijalnim tehnološkim postupkom netoplinke obrade jer može uzrokovati eliminaciju enzima i mikroorganizama, ali i poboljšati stvaranje emulzija.

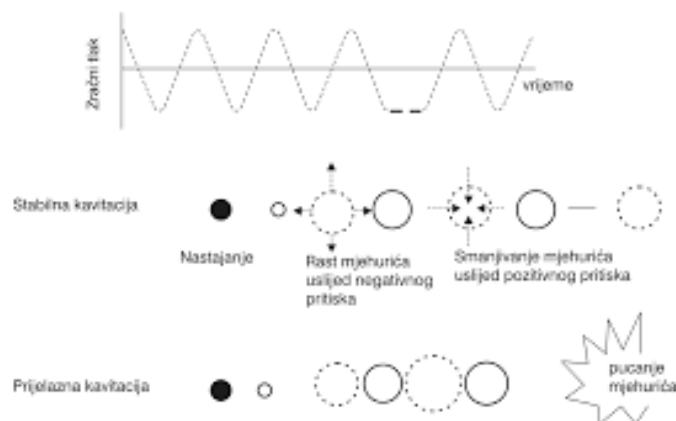
Obrada hrane ultrazvukom u prehrambenoj industriji ostavila je značajne rezultate i postaje sve važnija jer u manjoj mjeri utječe na promjenu nutritivnog sastava, ali i na ukupnu kvalitetu hrane. Prednost pred konvencionalnim metodama je u tome što djeluje u optički neprozirnim sustavima te se može koristiti za poboljšanje određenih operacija.

2.1.1.2. Kavitacija

Kavitacija je pojava isparavanja vode i stvaranja mjehurića vodene pare, a nastaje u trenutku kada tlak vode postaje jednak ili manji od tlaka zasićenja vodene pare. Pojava se može podijeliti na faze formiranja mjehurića, naknadni rast i kolaps mjehurića u kapljevitom fluidu. U realnim tekućinama najčešće nastaje izotermno, smanjujući tlak vode ispod tlaka zasićenja pri približno konstantnoj temperaturi.

Djelovanjem ultrazvuka visokog intenziteta, kada se zvučni val prostire tekućim medijem, dolazi do stvaranja longitudinalnih valova i područja promjenjivih kompresija i ekspanzija tlaka, a to uzrokuje pojavu kavitacije i stvaranje mjehurića plina (Sala i sur., 1995). Nastali mjehurići imaju veću površinu tijekom ciklusa ekspanzije pa se povećava difuzija plina. Kada ultrazvučna energija nije dovoljna da se zadrži plinska faza u mjehuriću, postignut je maksimum te dolazi do brze kondenzacije. Kondenzirane molekule se sudaraju i stvaraju udarne valove koji dosežu temperaturu od 5500 K i tlak od 50 MPa. Kao rezultat tih uvjeta, molekule vode se mogu slomiti pa dolazi do stvaranja slobodnih radikala koji mogu reagirati s drugim molekulama, te do stvaranja vodikovog peroksida koji ima baktericidna svojstva (Feng i sur., 2008; Piyasena i sur., 2003).

S obzirom na nastale mjehuriće, kavitacija se može podijeliti na dvije vrste, na stabilnu i prijelaznu kavitaciju. Stabilna kavitacija uključuje mjehuriće koji osciliraju, često nelinearno, oko ravnotežnog položaja tijekom mnogih ciklusa pritiska. Mjehurići postoje dovoljno dugo kako bi međusobno formirali veće mjehuriće. Kod prijelazne kavitacije mjehurići postoje relativno kratki period, koji je ponekad kraći od jednog ciklusa tako da brzo dolazi do njihovog kolapsa, odnosno implozije (Abramov, 1998; Laborde i sur., 1998; Show i sur., 2007).



Slika 3. Stabilna i prijelazna kavitacija (Kuijpers i sur., 2002)

Pojava kavitacije ne ovisi samo o frekvenciji i intenzitetu ultrazvuka, već i o svojstvima proizvoda kao što su viskoznost, gustoća, prisutnost otopljenih plinova itd., a svaka tekućina ima karakterističnu temperaturu pri kojoj dolazi do najveće aktivnosti kavitacije. Kavitacija se često smatra problemom jer uzrokuje eroziju tamo gdje se tekućine brzo pomiču preko metalnih površina, ali kada se iskoristi energija kavitacije, ona pruža izvanredan izvor energije.

2.1.1.3. Ultrazvučni sustav

Primjena ultrazvuka je jako široka, stoga oprema mora biti različita. Treba je se razlikovati ovisno o namjeni, potrebnim parametrima za primjenu i tehničkim značajkama, te mogućnosti uređaja da to sve osigura unutar vremena ispitivanja. Za provođenje svakog ispitivanja potrebno je odabrati ultrazvučni sustav, kojeg čine:

- ultrazvučni uređaj,
- ultrazvučne sonde,
- etaloni i referentni uzorci,

- kontaktno sredstvo,
- druga pomoćna sredstva.

Predmet ispitivanja izravno utječe na izbor ultrazvučnog sustava, jer za provođenje određenog ispitivanja potrebno je odabrati uređaj, sondu, potrebne etalone i referentne uzorke kako bi se osigurala veća vjerojatnost otkrivanja i procjene parametara pogreške (Krstelj, 2003).

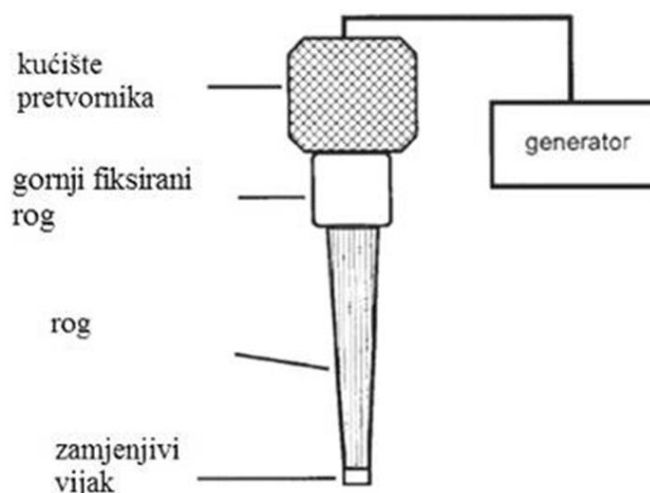
Ultrazvučni uređaj aktivira sonde električnim impulsima, prima elektroničke impulse iz sonde i daje prikaz međudjelovanja ultrazvuka i objekta ispitivanja. Osnovne dijelove čine:

- skup elektronskih sklopova, koji omogućuju napajanje i generiranje električkih impulsa, pojačavanje, sinkronizaciju i druge funkcije, koje osiguravaju korištenje opreme na razini zahtjeva,
- elektronski sklopovi izlaznih jedinica, čiji je zadatak prikazati rezultate odašiljanja i prijema ultrazvuka korisniku, u prikladnom obliku za interpretaciju, a mogu dodatno sadržavati i mogućnost obrade signala (Krstelj, 2003).

Ključni dio, ali i najosjetljiviji dio ultrazvučnog sustava su ultrazvučne sonde ili prijamnici zvuka. Prilikom konstrukcije sonde slijedeće se uzima u obzir:

- materijal pretvarača,
- konfiguracija sonde,
- prigušivač i njegove značajke,
- prizma i/ili maske za prijenos ultrazvuka u materijalu,
- kućište,
- zaštitni elementi, maske.

Izbor materijala pretvarača ovisi o namjeni sonde. Na odašiljačkim ploham pretvarača nalaze se metalne elektrode, u većini slučajeva od srebra, koje omogućuju dovođenje električkog signala. Prigušivač svojim sastavom materijala i oblikom prigušuje neželjene titraje s mnogo refleksije. Prigušenje je veće što su usklađenije akustičke impedancije pretvarača i prigušivača.



Slika 4. Ultrazvučna sonda (Laboratorij za tehnološke operacije, Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2017)

U praksi je uobičajena podjela sonde prema smjeru odašiljanja i prijema ultrazvučnog snopa u odnosu na materijal ispitivanja. Sonde se dijele na standardne sonde, koje se koriste u ultrazvučnoj kontroli i specijalne sonde. Standardne sonde, s obzirom na smjer odašiljanja ultrazvučnog snopa su ravne i kutne sonde, a mogu biti izvedene kao dvostruka i fokusirajuća sonda (Krstelj, 2003).

Ravna sonda odašilje i prima ultrazvučne valove okomito na svoju izlaznu plohu. Kut odašiljanja ultrazvuka ravne sonde je 0° . Kutna sonda odašilje i prima ultrazvučne valove pod kutom prema normali na plohu pretvarača. Najčešće se izrađuju s kutom ulaza ultrazvuka pod kutom od 45° , 60° , 70° , 80° . Mogu generirati longitudinalne, transverzalne i površinske valove te njihove kombinacije (Krstelj, 2003).

2.1.2. Voćni sokovi

Voćni sokovi se proizvode mehaničkom preradom jedne ili više vrsta zdravog, tehnološki zrelog, svježeg ili ohlađenog voća koje nije fermentiralo, ali može fermentirati. Boja, aroma, okus i miris soka moraju biti svojstveni voću od kojeg je sok proizveden, dok se aroma, pulpa i čestice voćnog tkiva izdvojene prilikom prerade mogu vratiti istom soku. Ako se sokovi proizvode iz voća s košticama, sjemenkama i korom, dijelovi istih ne smiju se nalaziti u sokovima. Pri proizvodnji voćnog soka dopušteno je miješanje voćnog soka i voćne kaše (NN 48, 2013).

U pravilu postoje dvije vrste voćnih sokova, bistri i mutni sok. Bistri sokovi dobivaju se filtriranjem i bistrenjem voćnog soka i imaju manji udio voća, dok se mutni sokovi dobivaju filtriranjem voćnog soka uz dodatak čestice voća.



Slika 5. Svježi sokovi

(Izvor: <https://2012-transformacijasvijesti.com/alternativna-medicina/svjezi-sokovi-najbolji-lijek>)

Voće i povrće glavni su prehrambeni proizvodi te ključni sastojci u mnogim procesiranim namirnicama. Potrošači sve više traže proizvode koji sadržavaju svoju prehrambenu vrijednost, prirodnu i svježju boju, okus i teksturu, te da sadrže manje aditiva poput konzervansa, a takvi zahtjevi predstavljaju nove izazove proizvođačima. Zbog toga se sve više istražuje važnost konzumacije voća i povrća na zdravlje ljudi, ali i novih tehnika koje će očuvati hranjive tvari i osjetilne karakteristike koje zahtijevaju potrošači.

Iako se prosječna životna dob europskog građanina povećava, sve je veća populacija ljudi koja živi s različitim kroničnim bolestima, ali postoje dokazi da prehrana bogata voćem i povrćem može smanjiti taj teret kroničnih bolesti. Voće i povrće bogato je različitim biološki aktivnim mikronutrijentima, ali oni mogu vrlo malo utjecati na zdravlje ako voće i povrće nije pravilno konzumirano.

2.1.2.1. Jagoda – fizikalno kemijske karakteristike

Jagoda je član porodice ruža (*Rosaceae*) roda *Fragaria*, uzgaja se širom svijeta i bere se ručno u punoj zrelosti. Meso ploda je veće nego kod ostalog bobičastog voća, a sjemenke su pričvršćene uz površinu kože. Aroma jagode se odnosi na ravnotežu između prirodno prisutnih šećera i organskih kiselina. Glavni topljivi ugljikohidrati su glukoza, fruktoza i saharoza čiji se sadržaj smanjuje s vremenom skladištenja. Od organskih kiselina prevladava

limunska kiselina, ali su prisutne jabučna i askorbinska kiselina (Perez i Sanz, 2001; Castro i sur., 2002). Ono što doprinosi okusu jagode su esteri, alkoholi i karbonilni spojevi, a najvažniji su metil butanoat, etil butanoat, metil heksanoat, *cis*-3-heksenil acetat i linalol (Menager i sur., 2004). Žarko crvenu boju svježih jagoda daju pigmenti antocijan i pelargonidin (Garzon i Wrolstad, 2002).

Ono što stvara interes kod potrošača su prisutni fenolni spojevi i njihova antioksidacijska svojstva, ali osim njih, dobar su izvor kalija i vitamina C. Također, svježe i smrznute jagode te sok od jagoda su niskokalorični proizvodi i dobar su izvor dijetalnih vlakana.

Razvoj u skladištu, transportu i preradi omogućuju dostupnost jagoda tijekom cijele godine. Oko 25% jagoda se prerađuje u različite spojeve, od kojih su upravo voćni sokovi, i to svježi, u sve većoj potražnji kod potrošača. Prilikom proizvodnje dolazi do smanjivanja količine askorbinske kiseline i fenolnih spojeva, stoga je potrebno pronaći određenu tehnologiju prerade kojom će se njihov udio smanjiti u najmanjoj mogućoj mjeri, jer upravo ti spojevi imaju određeni pozitivan učinak na zdravlje ljudi.

2.1.2.2. Jabuka – fizikalno kemijske karakteristike

Jabuka je član porodice ruža (*Rosaceae*) roda *Malus*, dobro se prilagođava klimatskim uvjetima, a faza proizvodnje voća započinje u kasno proljeće kada drvo nosi bijele cvjetove koji proizvode pelud i nektar da privuku pčele i druge insekte koji oprašuju svjetove. Jabuke su jedne od vodećih plodova proizvedenih u svijetu, uz banane su najviše konzumirano voće, a temelj toga je ravnoteža slatkoće i kiselosti ploda, svježja aroma, čvrsta tekstura i izgled.

Plod se sastoji od približno 85% vode, 12-14% ugljikohidrata, oko 0,9% proteina i beznačajne količine lipida, a njihove varijacije se očekuju zbog razlika u mjestu uzgoja, agronomskih i okolišnih uvjeta i zrelosti ploda. Otprilike 80% prisutnih ugljikohidrata čine topljivi šećeri, saharoza, glukoza i fruktoza, dok je ukupan sadržaj vlakana oko 2%. Primarno prisutna organska kiselina je jabučna kiselina, u količini od 0,3-1,0%, čija količina može jako varirati zbog raznolikosti u zrelosti i uvjetima okoline tijekom rasta i skladištenja (Ackermann i sur., 1992). Spojevi koji su važni za okus kod većine sorti jabuka su beta-damascenon, butil izomil i heksil heksanoat zajedno s etil, propil i heksil butanoatom. Glavne antioksidanse čine askorbinska i klorogenska kiselina (Cunningham i sur., 1986).

Jabuke imaju široku primjenu u prehrambenoj industriji, a proizvod koji se najviše konzumira je sok. Sok od jabuke ima nizak udio kalorija i prirodan je izvor šećera. Proizvodnja soka zahtijeva ekstrakciju tekućine iz krutih tvari, dobiveni proizvod je zlatne boje i često je nefiltriran i nepasteriziran što može predstavljati zabrinutost za sigurnost proizvoda. Kako ne bi došlo do kvarenja ili kontaminacije proizvoda, potrebno je koristiti neku noviju tehniku proizvodnje umjesto tradicionalne ekstrakcije.

2.1.3. Fizikalna svojstva

Fizikalna svojstva tvari očituju se prilikom fizikalnih promjena. Pri fizikalnoj promjeni se ne mijenja vrsta tvari, već samo njezin oblik i agregatno stanje. Svojstva tvari koja ne ovise o veličini uzorka nazivaju se intenzivnim svojstvima i u njih se, osim agregatnog stanja, ubrajaju talište, vrelište, gustoća, topljivost, električna i toplinska vodljivost, magnetičnost i drugo. Svojstva tvari kao što su masa ili volumen ovise o veličini tvari u uzorku koji se promatra, te se takva svojstva nazivaju ekstenzivna svojstva.

Jedno od najvažnijih svojstva tvari, prvenstveno hrane, je tekstura. Definira se kao reakcija na silu ili taktilni osjećaj, te uključuje niz parametara, kao što su čvrstoća, tvrdoća, elastičnost. Primarno se doživljava osjetom dodira, u ustima ili nekim drugim dijelom tijela, i ima presudnu ulogu da li će potrošač kupiti proizvod ili ne (Tijskens i Luyten, 2004).

2.1.3.1. Gustoća

Gustoća je fizikalna veličina određena kao količnik mase (m) i volumena (V) nekog tijela, to jest, opisuje kolika je masa neke tvari prosječno sadržana u jedinici volumena. Mjerna jedinica je kilogram po metru kubnom (kg/m^3). Nije promjenjiva karakteristika neke tvari, već prvenstveno ovisi o temperaturi, što vrijedi za tvari u svim agregatnim stanjima, te kod plinovitog stanja jako ovisi i o tlaku koji vlada u tom plinu. U pravilu, gustoća opada s porastom temperature, ali to neće biti slučaj ako je toplinsko širenje tvari na neki način mehanički spriječeno. Najpoznatije takvo odstupanje je anomalija vode.

2.1.3.2. Viskoznost

Jedno od najvažnijih svojstava fluida je viskoznost. Predstavlja mjeru unutrašnjeg trenja koje se javlja kao otpor na promjenu položaja molekula pri strujanju fluida kada na njih djeluje smično naprezanje. Veličina unutrašnjeg trenja je u idealnom slučaju ovisna jedino o tlaku (p) i temperaturi (T). U tom je slučaju uspostavljena brzina smicanja kapljevine koja je proporcionalna smičnom naprezanju. Iz te dvije veličine može se definirati dinamička viskoznost pri konstantnom tlaku i temperaturi:

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta * \frac{dv_x}{dy} [Pa]$$

pri čemu je: η - dinamička viskoznost, Pas,

τ - smično naprezanje, Pa,

$\frac{dv_x}{dy}$ - brzina smicanja, s⁻¹.

Svi fluidi koji se ponašaju prema ovome zakonu nazivaju se newtonski fluidi. Newtonski fluid zadržava konstantnu viskoznost u svakom sloju smicanja, te nastavlja tok bez obzira na sile koje djeluju na njega. Takve tekućine su na primjer voda, ulje, voćni sokovi, mlijeko i slično (Režek Jambrak i Vukušić, 2017).

Fluidi koji se ne ponašaju po Newtonovom zakonu trenja, pošto njihova viskoznost ovisi o brzini smicanja, to jest smičnom naprezanju, nazivaju se nenewtonski fluidi. Kod nenewtonskog fluida viskoznost ne ovisi samo o tlaku i temperaturi, nego i o brzini smicanja, te se mijenja ovisno o primijenjenoj sili i nije je moguće precizno definirati, stoga se naziva prividna viskoznost (Režek Jambrak i Vukušić, 2017).

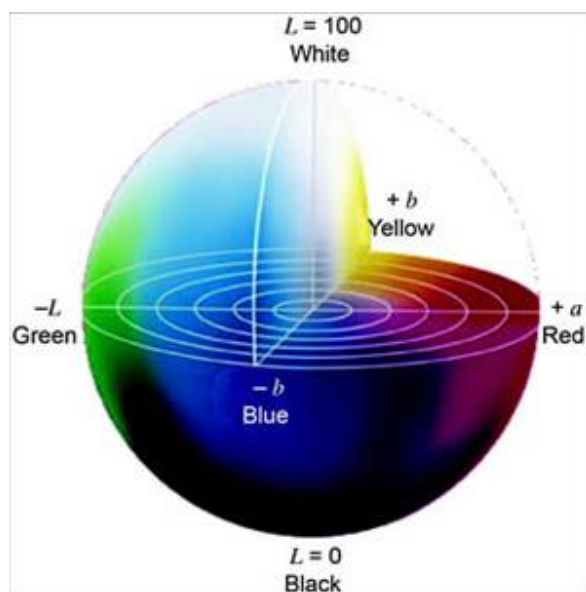
2.1.3.3. Kolorimetrija

Od naših pet osjetila, vid igra važnu ulogu u svakodnevnom životu. Od buđenja, tokom cijelog dana, naše oči primaju različite vizualne signale. Naš odgovor na te signale je da ih prihvatimo ili odbijemo na temelju njihove važnosti. Velika pažnja se pridodaje prilikom odabira hrane jer na temelju njenog izgleda možemo procijeniti kvalitetu. Čimbenici koji u velikoj količini doprinose izgledu neke namirnice su načini pakiranja i okruženje u kojem se namirnica nalazi. Prilikom proizvodnje primjenjuju se različiti procesi, kao što su dehidracija,

konzerviranje, hlađenje, zamrzavanje, a oni uzrokuju promjene na hrani. Promjene nisu uvijek pozitivne, pa tako može doći do gubitka koncentracije pigmenta i promjene u strukturi hrane, odnosno dolazi do promjena boje i izgleda hrane.

Osjećaj boje je psihofizički fenomen, koji uključuje primanje informacija od strane oka i njihovu interpretaciju od strane mozga. Obzirom da je boja psihološki fenomen, mjerenje se mora temeljiti na percepciji ljudske boje, stoga su fotoelektrični instrumenti korigirani i za osvjetljenje i za ljudski vizualni odgovor (Patterson, 1987).

Fotoelektrični instrumenti za mjerenje boje mogu se podijeliti u dvije grupe, na tristimulusne kolorimetre i spektrofotometre. Kolorimetar je uređaj koji mjeri tristimulusne vrijednosti boja, na način sličan ljudskom doživljaju boja, u pravilu podešenom prema krivulji standardnog promatrača. Mjerenje boje kolorimetrom temelji se na uspoređivanju ispitivane boje s bojom nastalom u kolorimetru miješanjem osnovnih boja aditivne sinteze, prema Grassmanovim zakonima. Sustav mjerenja koji se koristi naziva se Lab i daje približne vrijednosti kao ljudsko oko.



Slika 6. Lab sustav boja

(Izvor: <https://www.house-design-coffee.com/images/cie-lab.jpeg>)

U Lab sustavu boje su opisane pomoću tri osi od kojih su dvije kromatske (a^* - crvena/zelena os, b^* - žuto/plava os) i jedne akromatske osi koja se odnosi na svjetlinu (L^* - predstavlja svjetlinu) koja se mjeri od 0 do 100 po vertikalnoj osi, gdje 0 označuje vrijednost za crnu, a 100 vrijednost za bijelu boju (Rigg, 1987).

Parametar ΔE^* nam može pokazati koliko neki proizvod odstupa od referentne boje, pri čemu se može izraziti jednadžbom:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2}$$

pri čemu je: L^* - svjetlina boje ispitivanog uzorka u $L^*a^*b^*$ sustavu

a^* - parametar boje ispitivanog uzorka

b^* - parametar boje ispitivanog uzorka

L_{ref}^* - svjetlina boje referentnog uzorka

a_{ref}^* - parametar boje referentnog uzorka

b_{ref}^* - parametar boje referentnog uzorka

Tablica 1. prikazuje okvirne vrijednosti ΔE^* i njihovo značenje iz percepcije potrošača ili proizvođača (Xiao, 2008).

Tablica 1. Značenje razlika između izmjerene ΔE^* vrijednosti i referentne.

ΔE^*	Značenje
0 – 0,5	Razlike u tragovima
0,5 – 1,5	Mala razlika
1,5 – 3,0	Primjetna razlika
3,0 – 6,0	Značajna razlika
6,0 – 12,0	Velika razlika
> 12,0	Vrlo velika razlika

Spektrofotometar je uređaj koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju, u intervalima, duž valnih dužina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat mjerenja u pojedinim valnim intervalima dobiva se spektrofotometrijska krivulja, a najčešće se koriste krivulje u valnom području od 350 nm do 750 nm. Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla na pojedinačne valne dužine pomoću monokromatora. Kao monokromator koristi se prizma ili optička rešetka, te se osvjetljava ispitivani uzorak i standard (Rigg, 1987).

3. Materijali i metode

3.1. Materijali – priprema uzorka

Uzorci koji su se koristili u eksperimentalnom radu su jagoda i jabuka. Jagode su tretirane na način da su prvo isprane vodom kako se u dobivenom soku ne bi pojavile čestice prašine ili neke druge nepoželjne tvari. Zatim su cijeli plodovi, zajedno sa zelenom peteljkom stavljeni u sokovnik, a dobiveni sok je podijeljen na pet uzoraka od 200 mL. Četiri uzorka tretirana su ultrazvukom visokog intenziteta (400 W) različitim intenzitetom i vremenom trajanja, sondom debljine 22 mm. Dva uzorka su tretirana amplitudom ultrazvuka od 100% u trajanju od 3 i 5 minuta, a druga dva uzorka amplitudom od 50% također u trajanju od 3 i 5 minuta.

Jabuke su tretirane na sličan način. Kod pripreme soka, iz ploda su uklonjene koštice i peteljka, odnosno endokarp, a kožica, egzokarp, je ostavljena, tako da je sok napravljen od mezokarpa i egzokarpa. Dobiveni sok je podijeljen na pet uzoraka od 100 mL, od kojih je četiri podvrgnuto djelovanju ultrazvuka visokog intenziteta (400 W), također sondom od 22 mm. Dva uzorka su tretirana amplitudom ultrazvuka od 100% u trajanju od 6 i 10 minuta, a druga dva uzorka amplitudom od 60% također u trajanju od 6 i 10 minuta.

Jedan uzorak jagode i jabuke bio je netretiran, odnosno nije bio podvrgnut djelovanju ultrazvuka iz razloga kako bismo mogli usporediti određena fizikalna svojstva tretiranih uzoraka s netretiranim uzorkom.



Slika 7. Uređaj za obradu ultrazvukom visokog intenziteta (Laboratorij za tehnološke operacije, Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2017)

3.2. Metode i postupci istraživanja

3.2.1. Mjerenje gustoće, viskoznosti i pH vrijednosti

Za određivanje gustoće uzoraka korišten je mjerač gustoće (Mettler Toledo DE40, Švicarska) (slika 7) raspona mjerenja od 0,0000 g/cm³ do 3,0000 g/cm³. Mjerenja su provedena pri temperaturi od 20°C. Prije mjerenja, nužno je isprati radnu komoru uređaja destiliranom vodom i pomoću pumpe izbaciti sadržaj kako bi se uređaj doveo u stanje za mjerenje. Zatim se pomoću plastične šprice injektira oko 1 mL uzorka. Nakon što je postignuta zadana temperatura, očita se dobivena vrijednost s točnošću od 0,0001 g/cm³.

Viskoznost je određena pomoću digitalnog viskozimetra (Mesu Lab, ME-NDJ-5S, nastavak L2). Mjerenje se provodi na način da se nastavak uroni u čašu s uzorkom, uređaj se pokrene čime započinje okretanje nastavka te nakon 2 minute očita se vrijednost viskoznosti.

pH vrijednost određena je pomoću digitalnog pH-metra uranjanjem sonde u čašu s uzorkom i očitanjem vrijednosti.



Slika 8. Mjerač gustoće¹



Slika 9. Viskozimetar²



Slika 10. pH-metar³

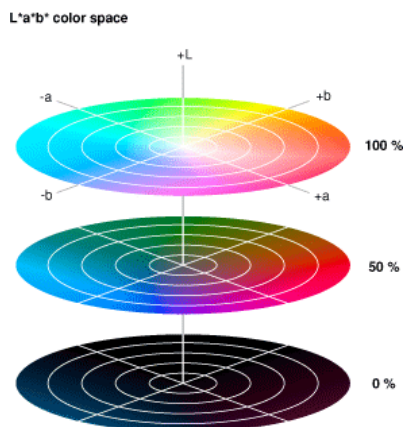
(Izvor¹: <https://www.bostonlabco.com/mettler-toledo-de40-density-meter.html>)

(Izvor²: <http://hr.analysisinstrument.com/laboratory-optical-analysis-instrument/viscometer/digital-viscometer-price.html>)

(Izvor³: <http://botanika.hr/proizvod/milwaukee-prijenosi-ph-metar-mw110/>)

3.2.2. Kolorimetrija

Boja voćnih sokova određena je pomoću uređaja CM-3500d (kolorimetar – Konica – Minolta, Japan). Uzorcima jagode mjerena je reflektancija. Uređaj se prvo kalibrira za izabranu masku otvora 8 mm. Postavljanjem geometrije na d/8, uzorak se namjesti na površinu otvora i mjere se reflektancije u vidljivom području: L^* , a^* , b^* vrijednosti. Sva mjerenja provedena su u (Specular Component Excluded) modu.



Slika 11. Koordinatni sustav CIE – L^* , a^* , b^*

(Izvor: <http://www.technidynblog.com/2014/04/practical-aspects-of-color-matching.html>)

Uzorcima jabuke mjerena je transmitancija. Uređaj se prvo kalibrira uporabom destilirane vode, a zatim se mjere uzorci u staklenoj kiveti promjera 1 cm, napunjene uzorkom do oznake. Uzorcima se mjeri apsorbancija pri valnoj duljini od 500 nm (A_{500}) prije i nakon obrade ultrazvukom u intervalima od 15 minuta u ukupnom trajanju od 120 minuta.

Pomoću računalnih programa „Spectra MagicTM NX Ver. 1.7.” i „Color Data Software CM-S 100 W” očitane su dobivene vrijednosti svih uzoraka.



Slika 12. Kolorimetar CM-3500d (Konica - Minolta, Japan)

(Izvor: http://www.argetek.com/default_en.asp?wx=xp731&id=150&alt=24&id1=1768&c=Konica-Minolta/Benchtop-Spectrophotometer-CM-3500d)

4. Rezultati i rasprava

4.1. Gustoća, viskoznost i pH vrijednost

Rezultati, odnosno izmjerene vrijednosti provedenih mjerenja prikazani su u Tablici 2. za uzorak jagode i u Tablici 3. za uzorak jabuke.

Tablica 2. Fizikalni parametri ispitivanih uzoraka obrađenih tijekom 0, 3 i 5 min ultrazvukom amplitude 50 % i 100%.

Uzorak: JAGODA	Netretirani	100%	100%	50%	50%
		3 min	5 min	3 min	5 min
Gustoća (g/mL)	0,9661	1,0258	1,0266	1,0257	1,0259
Viskoznost (mPas)	135,8	38,8	34,4	84,6	39,4
pH	3,697	3,672	3,469	3,477	3,421

Uspoređujući vrijednosti tretiranih uzoraka s netretiranim, može se vidjeti da se vrijednost gustoće tretiranih uzoraka nije znatno promijenila. Najveću viskoznost ima netretirani uzorak, dok se kroz tretman ultrazvukom viskoznost smanjuje, a najveću viskoznost ima uzorak koji je tretiran 3 min amplitudom od 100 %. Tijekom tretmana ultrazvukom dolazi do razaranja i pucanja nekih stanica uslijed čega se viskoznost smanjila. Slično je i s pH vrijednosti. Netretirani uzorak ima najvišu pH vrijednost, dok se tretiranim uzorcima pH vrijednost smanjila. To je također posljedica pucanja staničnih membrana tijekom obrade ultrazvukom, te izlaska stanične tvari u okolni prostor. Sniženje pH nije preveliko da bi promijenilo organoleptiku soka, ali je dovoljno da produži rok trajanja proizvoda.

Tablica 3. Fizikalni parametri ispitivanih uzoraka obrađenih tijekom 0, 6 i 10 min ultrazvukom amplitude 60 % i 100%.

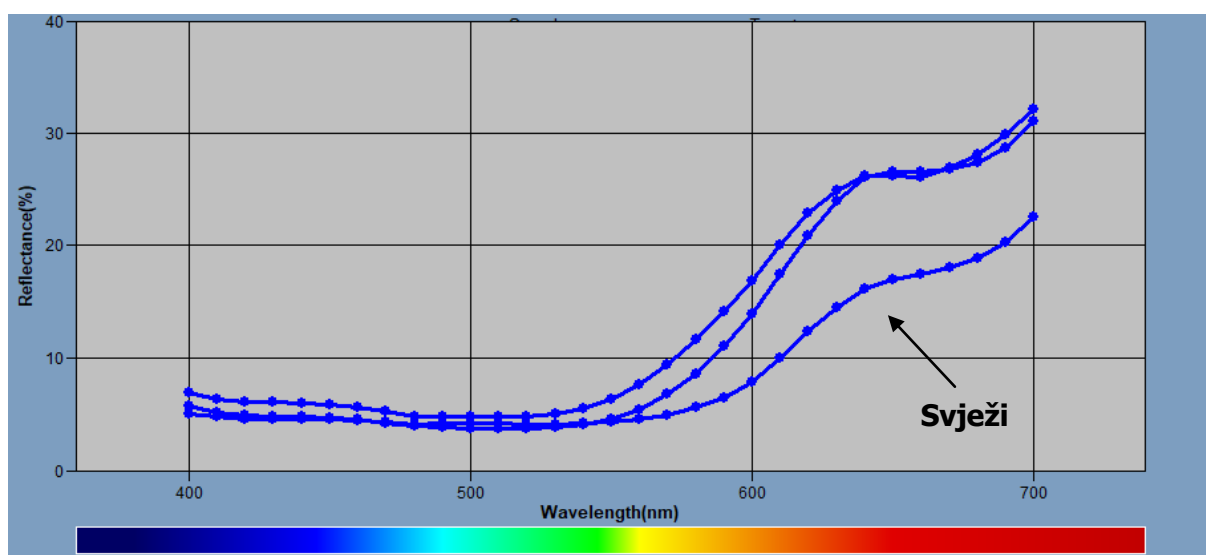
Uzorak : JABUKA	Netretirani	100%	100%	60%	60%
		6 min	10 min	6 min	10 min
Gustoća (g/mL)	1,0458	1,0485	1,0506	1,0476	1,0475
Viskoznost (mPas)	74,9	28,4	41,2	18,7	10,9
pH	4,751	4,736	4,318	4,370	4,315

Uspoređujući vrijednosti tretiranih uzoraka s netretiranim, može se vidjeti da je gustoća približno jednaka. Netretirani uzorak ima najveću viskoznost, dok se viskoznost tretiranih uzoraka smanjuje, pa tako uzorci koji su tretirani amplitudom 60 % imaju manju viskoznost od uzoraka tretiranih amplitudom 100 %. pH vrijednost tretiranih uzoraka približno je jednaka, te je nešto manja od pH vrijednosti netretiranog uzorka.

4.2. Kolorimetrija

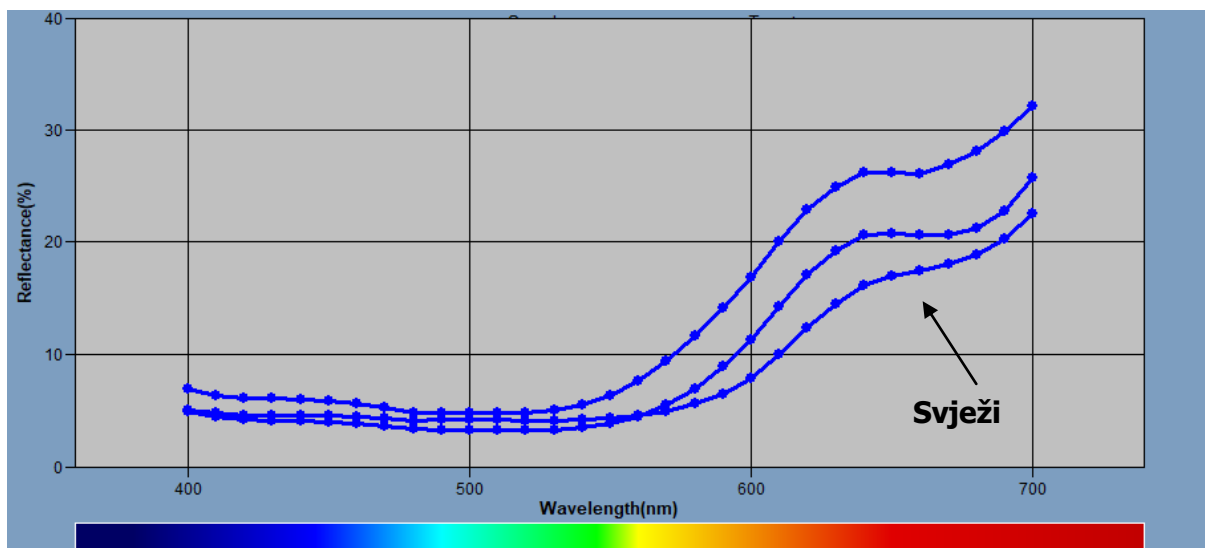
4.2.1. Uzorci jagode

Na slici 13. prikazana je razlika netretiranog uzorka s uzorcima tretiranim različito vrijeme ultrazvukom amplitude 100 % te se vidi da tretirani uzorci imaju veću količinu crvene boje od netretiranog uzorka, dok su razlike između tretiranih uzoraka ovisno o vremenu trajanja zanemarive.



Slika 13. Usporedba svježeg uzorka jagode s uzorcima obrađenim tijekom 3 i 5 min, pri 100 % amplitude

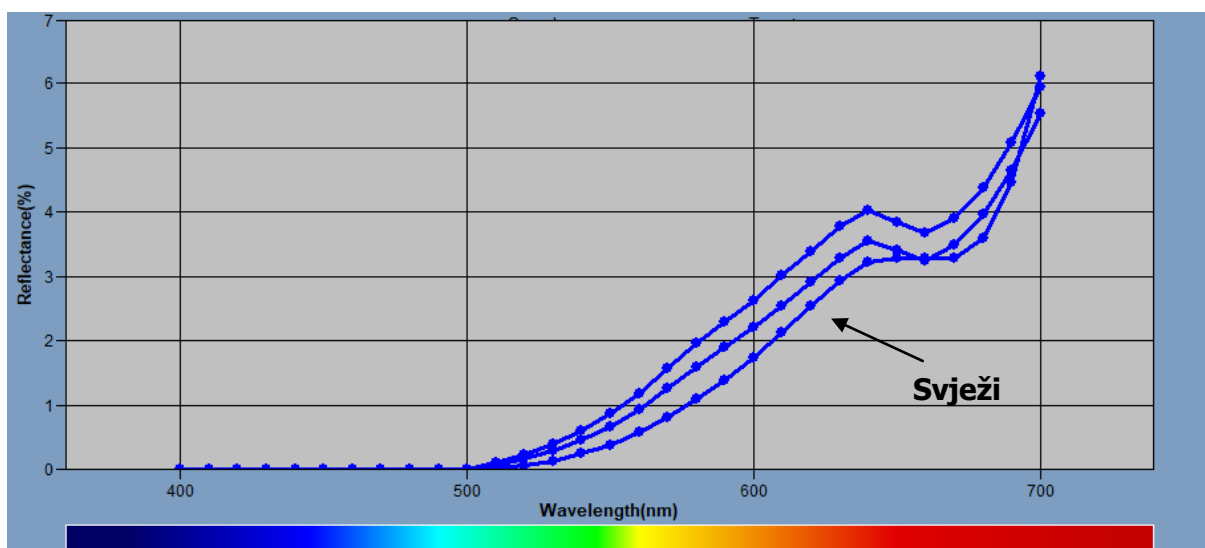
Na slici 14. uspoređene su razlike u boji ovisno o amplitudi ultrazvuka kojom je uzorak tretiran. Uzorak koji je tretiran amplitudom 100 % ima izraženiju crvenu boju od uzorka tretiranog amplitudom 50 % i od netretiranog uzorka.



Slika 14. Usporedba svježeg uzorka jagode s uzorcima obrađenim pri 50 % i 100 % amplitude tijekom 3 min

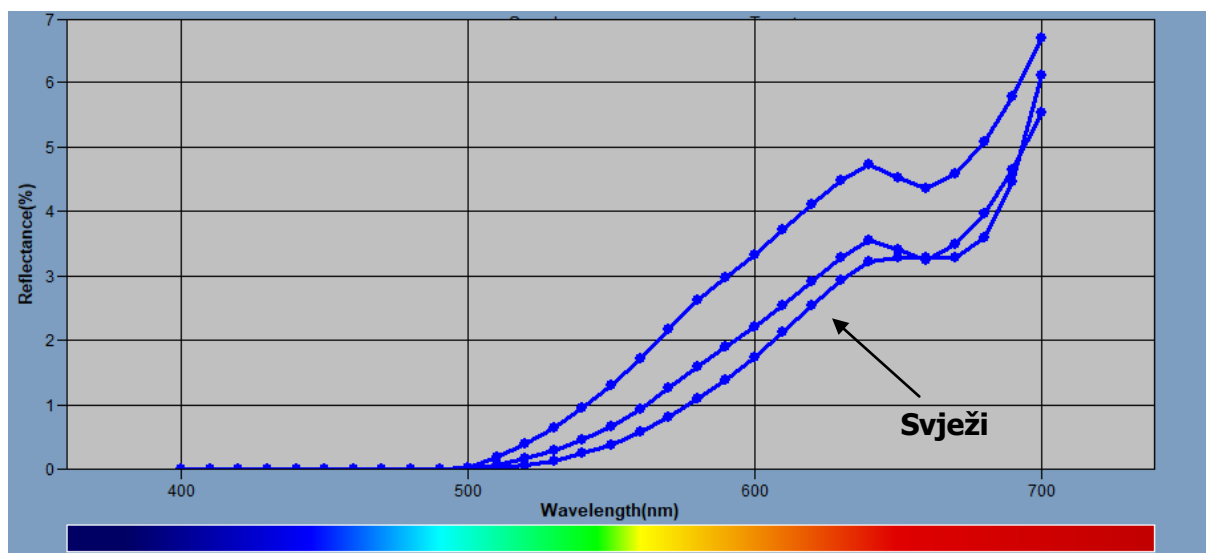
4.2.2. Uzorci jabuke

Na slici 15. prikazana je razlika netretiranog uzorka s uzorcima tretiranim različito vrijeme ultrazvukom amplitude 100 % te se može vidjeti da razlike između uzoraka nisu velike. Na krivuljama se može vidjeti da žuto-narančasta boja prevladava.



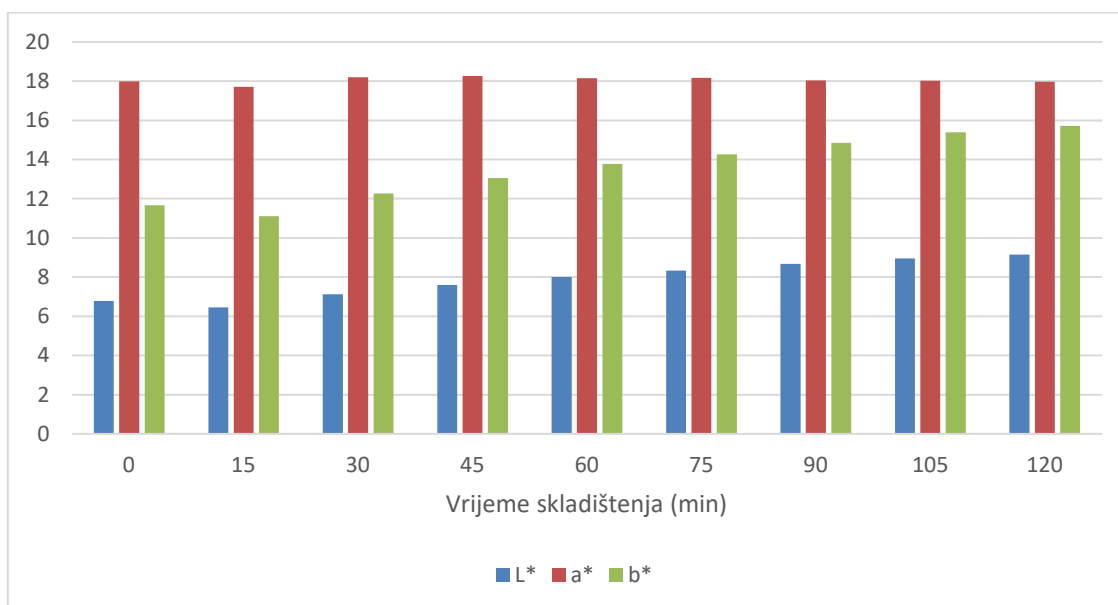
Slika 15. Ovisnost boje o vremenu tretiranja (0, 6 i 10 min) ultrazvukom amplitude 100 %

Na slici 16. uspoređene su razlike u boji ovisno o amplitudi ultrazvuka kojom je uzorak tretiran. Uzorak tretiran amplitudom 100 % više je promijenio boju od uzorka tretiranog amplitudom 60 %. Što je veća amplituda ultrazvuka, to će se više stanica razoriti, što će posljedično uzrokovati i veću promjenu u boji.



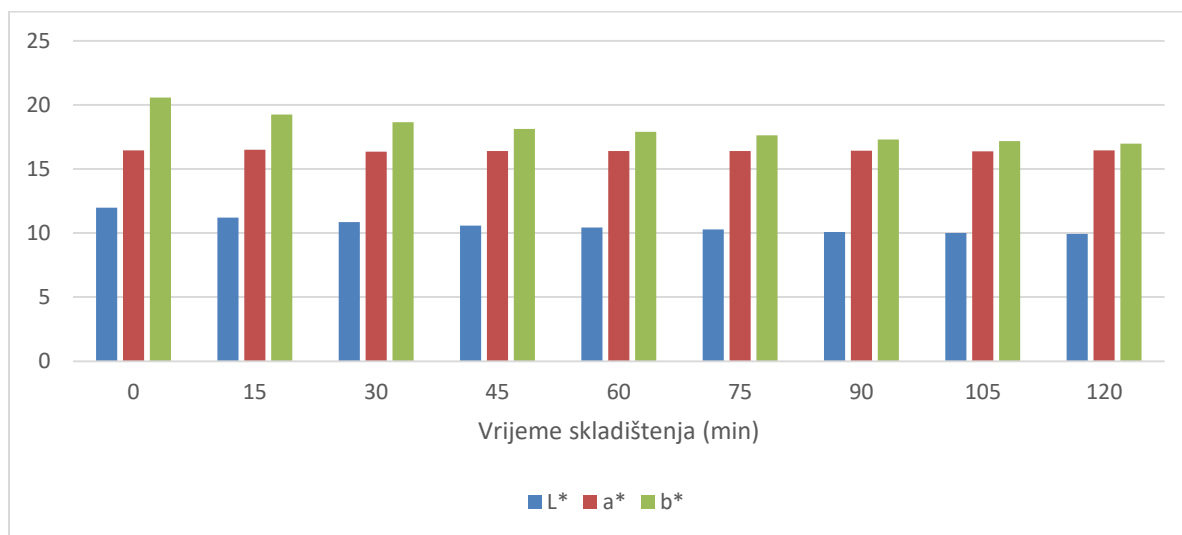
Slika 16. Ovisnost boje uzorka o amplitudi ultrazvuka (0, 60 i 100 %) tijekom tretmana u trajanju od 10 min

Slika 17. prikazuje razlike u L^* , a^* i b^* vrijednosti netretiranog ovisno o vremenu skladištenja. Najveća razlika uočava se u L^* vrijednosti, odnosno uzorak je s vremenom posvijetlio. Razlike u a^* i b^* vrijednosti su približno jednake kroz cijelo vrijeme skladištenja.



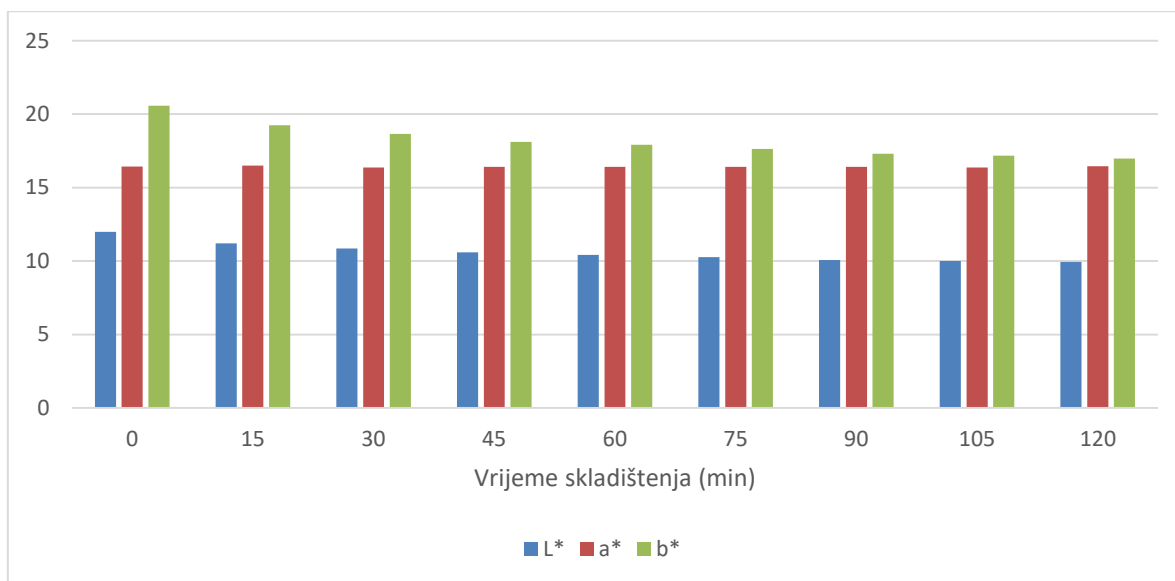
Slika 17. Ovisnost L , a i b vrijednosti boje neobrađenog uzorka o vremenu skladištenja

Promatrajući razlike u L^* , a^* , b^* vrijednosti tijekom skladištenja uzorka tretiranog 6 min amplitudom ultrazvuka 100 % (slika 18) vidi se da se svjetlina smanjuje, odnosno uzorak je potamnio. Na to upućuje lagano opadanje L^* vrijednosti, dok su razlike u a^* i b^* vrijednosti zanemarive.



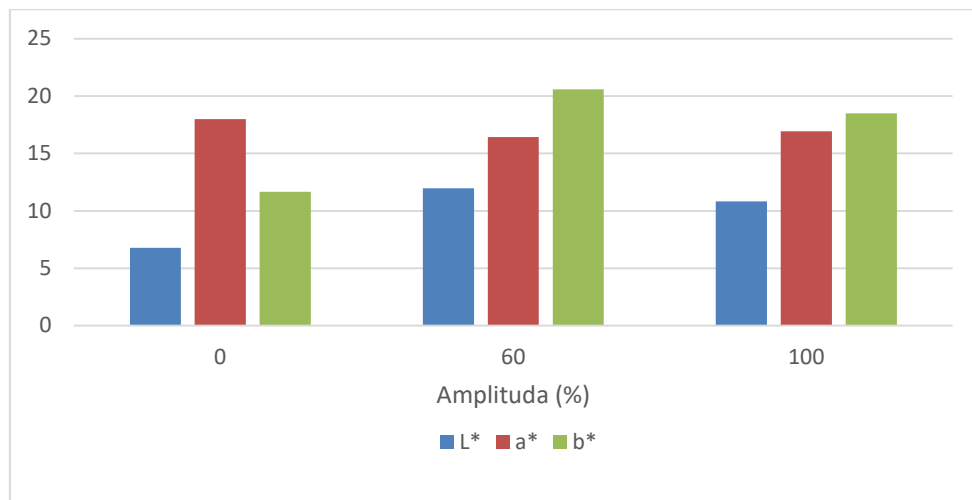
Slika 18. Ovisnost L , a i b vrijednosti boje uzorka tretiranog 6 min amplitudom ultrazvuka 100 % o vremenu skladištenja

Razlike u L^* , a^* , b^* vrijednosti tijekom skladištenja uzorka tretiranog 6 min amplitudom ultrazvuka 60 % (slika 19) mijenjaju se na način da L^* vrijednost opada, odnosno uzorak je potamnio, dok su razlike u a^* i b^* vrijednosti zanemarive.



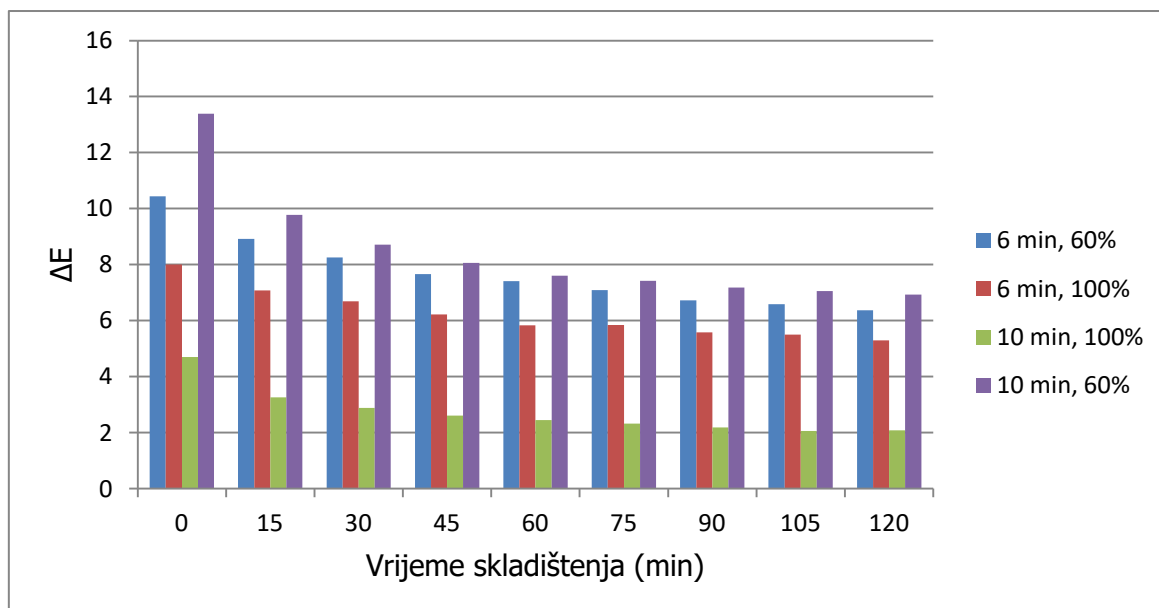
Slika 19. Ovisnost L , a i b vrijednosti boje uzorka tretiranog 6 min amplitudom ultrazvuka 60 % o vremenu skladištenja

Na slici 20. prikazan je utjecaj različite amplitude ultrazvuka na boju uzorka. Najveća razlika uočena je kod L^* vrijednosti. Vrijednost se povećala kod tretiranih uzoraka, odnosno ti su uzorci više potamnili u odnosu na netretirani uzorak. Također, moguće je uočiti razliku kod b^* vrijednosti, dok je a^* vrijednost približno jednaka za sva tri uzorka.



Slika 20. Utjecaj tretmana ultrazvukom na boju uzorka

Uz dobivene vrijednosti L^* , a^* i b^* vrijednosti boje, ukupna promjena boje ispitivanih uzoraka jabuke izražavala se preko ΔE^* . Dobivene vrijednosti prikazane su na slici 21. S vremenom skladištenja, ΔE^* vrijednost svih uzoraka se smanjuje, odnosno boja uzoraka sve manje odstupa od referentne boje (netretirani uzorak) i sve je teže potrošaču vidjeti razliku golim okom.



Slika 21. Ovisnost ΔE vrijednosti ispitivanih uzoraka o vremenu skladištenja

5. Zaključak

Optimiranjem procesnih parametara obrade ultrazvukom, iz dobivenih rezultata mjerenja došlo se do slijedećih zaključaka:

Obradom uzoraka različitom amplitudom ultrazvuka i duljinom trajanja obrade, nije došlo do značajnih razlika u gustoći i pH vrijednosti. Najveće razlike između tretiranih i netretiranog uzorka uočene su kod mjerenja viskoznosti. Obradom ultrazvukom dolazi do razaranja određenog broja stanica, što posljedično utječe na viskoznost tako da se ona smanjuje. Dobiveni rezultati odnose se i na uzorak jagode i na uzorak jabuke.

Mjerenjem boje uzoraka jagode uočeno je da tretirani uzorci imaju jače izraženu crvenu boju od netretiranog uzorka. Ovisno o vremenu tretiranja nema velike razlike između tretiranih uzoraka, ali ovisno o korištenoj amplitudi, uzorak koji je tretiran većom amplitudom ima više izraženu crvenu boju.

Mjerenjem boje uzoraka jabuke uočeno je da vrijeme trajanja obrade ultrazvukom ne utječe na boju koliko utječe amplituda ultrazvuka. Uzorak tretiran većom amplitudom ima puno veću razliku u boji od netretiranog uzorka u odnosu na uzorak tretiran manjom amplitudom.

S vremenom skladištenja, boja netretiranog uzorka mijenja se na način da je uzorak posvijetlio, dok su tretirani uzorci potamnili. Izračunom ΔE vrijednosti uočeno je da su razlike u boji sve manje što su uzorci dulje skladišteni.

6. Popis literature

Abramov, O.V. (1998) High-intensity Ultrasonics: Theory and Industrial Applications, Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers.

Ackermann, J., Fischer, M., Amado, R. (1992) Changes in sugars, acids and amino acids during ripening and storage of apples (Cv. Glockenapfel). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 131-134.

Castro, I., Goncalves, O., Texeira, J.A., Vicente, A.A. (2002) Comparative study of Selva and Camarosa strawberries for the commercial market. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2132.

Cunningham, D.G., Acree, T.E., Bernard, J., Butts, R.M., Braell, P.A. (1986) Charm analysis of apple volatiles. *Food Chemistry*, 137-147.

Feng, H., Yang, W., Hielscher, T. (2008) Power ultrasound. *Food Science Technology*, 433-436.

Garzon, G.A., Wrolstad, R.E. (2002) Comparison of the stability of pelargonidin-based anthocyanins in strawberry juice and concentrate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1288.

Krstelj, V. (2003) Ultrazvučna kontrola. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje.

Kuijpers, W.A., van Eck, D., Kemmere, M.E., Keurentjes, J.T.F. (2002) Cavitation-induced reactions in high-pressure carbon dioxide. *Science*, 1969-1971.

Laborde, J.L., Bouyer, C., Caltagirone, J.P., Ge'raud, A. (1998) Acoustic bubble cavitation at low frequencies. *Ultrasonics*, 589-594.

Mason, T.J. (1998) Power ultrasound in food processing - the way forward. U: *Ultrasound in Food Processing*, Povey M.M., ur., str. 105-126.

McClements, J. (1995) Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends Food Science Technology*, 296-299.

Menager, I., Jost, M., Aubert, C. (2004) Changes in physicochemical characteristics and volatile constituents of strawberry (Cv. Cigaline) during maturation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1248.

Patterson, D. (1987) Instruments for the measurement of the colour of transparent and opaque objects. U: *Colour Physics for Industry*, McDonald R., ur., Bradford: Society of Dyers and Colourists, str. 35-62.

Perez, A.G., Sanz, C. (2001) Effect of high-oxygen and high-carbon-dioxide atmospheres on strawberry flavor and other quality traits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2370.

Piyasena, P., Mohareb, E., McKellar, R.C. (2003) Inactivation of microbes using ultrasound. *Food Microbiology*, 207-216.

Pravilnik o voćnim sokovima i njima sličnim proizvodima namijenjenim za konzumaciju. (2013) *Narodne novine* **48** (NN 48/2013).

Režek Jambrak, A., Vukušić, T. (2017) Fizikalna svojstva složenih sustava hrane - priručnik za studente. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet. str. 2-5.

Rigg, B. (1987) Colorimetry and the CIE system. U: *Colour Physics for Industry*, McDonald R., ur., Bradford: Society of Dyers and Colourists, str. 63-96.

Sala, F.J., Burgos, J., Condon S., Lo'pez, P., Raso, J. (1995) Effect of heat and ultrasounds on microorganisms and enzymes. U: *New Methods of Food Preservation*, Gould G., Glasgow: Blackie. str. 176-204.

Show, K.Y., Mao, T.H., Lee, D.J. (2007) Optimisation of sludge disruption by sonication. *Water Research*, 4741-4747.

Tijsskens, L.M.M., Luyten, H. (2004) Modelling food texture. The Netherlands: Wageningen University and Research Centre.

Xiao, D.C. (2008) Food Drying Fundamentals. U: *Drying Technologies in Food Processing*, Xiao D.M., ur., Singapore: Blackwell Publishing. str. 1-55.

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristila drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Jva Jurec

ime i prezime studenta